

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von einkanaligen oder mehrkanaligen Bildern

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von einkanaligen oder mehrkanaligen Bildern, wobei ein Bild auf ein Referenzbild ohne genaue Kenntnis der Abbildungsfunktion entzerrt wird.

Eine ungenaue und/oder unzureichende Kenntnis der Abbildungsfunktion liegt
10 insbesondere dann vor, wenn Bilder mit bewegten Aufnahmesystemen und/oder einem bewegten Bildfeld erfasst werden und die Orientierung des Aufnahmesystems gegenüber dem Bildfeld nicht oder nur unter großem Aufwand eindeutig bestimmbar ist. So sind beispielsweise Abbildungsfunktion zur Entzerrung von Satellitenbildern für eine Landvermessung nicht oder nur in Grenzen bekannt. Es ist auch denkbar, dass
15 eine Verzerrung des Referenzbildes nicht oder nur in Grenzen bekannt ist.

Die Bilder werden durch ein Aufnahmegerät erfasst und liegen für die Weiterverarbeitung als einkanalige Bilder, beispielsweise Grauwertbilder, oder mehrkanalige Bilder, beispielsweise Farbbilder, vor.

20 Bilder zur Aufnahme und Abbildung der Erdoberfläche werden von bewegten Aufnahmesystemen aufgenommen. Die Aufnahmesysteme befinden sich beispielsweise auf Satelliten oder Flugzeugen. Bekannte Verfahren zur Aufnahme und Abbildung der Erdoberfläche sind sogenannte photogrammetrische Verfahren, wobei
25 die aufgenommenen Bilder für eine Übertragung in eine zu erstellende Karte entzerrt werden. Die notwendige Transformation eines aufgenommenen Bildes in eine gewünschte Darstellung wird als Abbildungsvorgang bezeichnet. Für die Entzerrung wird der Abbildungsvorgang als kollineare Gleichung modelliert. Es existiert bereits eine Reihe grundlegender Verfahren zur Georeferenzierung von
30 Fernerkundungsdaten, die entweder auf dem Prinzip der Positionsberechnung mit Hilfe eines Modells des Abbildungsvorgangs (Abbildungsmodells) oder auf dem Passpunktprinzip mit Hilfe eines Referenzbildes beruhen. Auch eine Verkopplung beider Methoden ist möglich.

35 Für die Entzerrung unter Verwendung eines Abbildungsmodells wird der Abbildungsvorgang als kollineare Gleichung beschrieben oder mittels einfacherer Modelle genähert. Sind alle Parameter des Abbildungsvorgangs bekannt, so sind sehr

präzise Bilder erzeugbar. In der Praxis sind jedoch nicht alle Parameter, die bei der Bildentstehung eine Rolle spielen, wie z.B. Ort und Lage des Satelliten, ausreichend genau bekannt. Ursächlich hierfür ist eine Beschränkung der Messgenauigkeit sowie die Tatsache, dass nicht alle Parameter zeitlich stabil sind. Die zeitliche Instabilität ergibt sich beispielsweise aus Schwankungen der Satellitenbahn. Weiter erfolgt eine Vermessung der Satellitenbahn diskret, wobei die Interpolation zwischen diesen Zeitpunkten zusätzliche Fehler ergibt.

Daneben ist es bekannt, bei unvollständigen oder ungenauen Abbildungsparametern eine Entzerrung mit Hilfe von Passpunkten durchzuführen. Das Verfahren wird insbesondere dann eingesetzt, wenn das zu entzerrende Bild, beispielsweise ein Satellitenbild, nicht auf eine definierte Geometrie, beispielsweise eine Karte, sondern auf ein Referenzbild mit unbekannter Verzerrung abgebildet wird. Passpunkte sind kontrastreiche Bildstrukturen, welche zeitlich stabil sind und eine Ortsbestimmung mittels Korrelation ermöglichen. Die Interpolation zwischen den Passpunkten wird in der Regel mit zweidimensionalen Polynomfunktionen vorgenommen. Eine Fehlerquelle bei der Passpunktentzerrung ist die Unähnlichkeit der Passpunktstrukturen in den verschiedenen Bildern, die hervorgerufen werden durch unterschiedliche Aufnahmegeometrien, einen unterschiedlichen Zustand der Objekte, welche die Passpunktstruktur bilden, oder durch Mittelung unterschiedlicher Objekte oder Objektteile. Eine weitere Fehlerquelle ist die für die Interpolation eingesetzte Polynomfunktion, durch welche in der Regel der Abbildungsvorgang nicht ausreichend genau modellierbar ist. Dies gilt insbesondere bei großen Flächen. Je weiter ein Punkt von einem Passpunkt entfernt liegt, desto größer sind die Auswirkungen aufgrund von Ungenauigkeiten in der Polynomfunktion. Dieser Effekt zeigt sich vor allem bei Polynomen höheren Grades.

Außerdem ist es bekannt, die beiden Methoden, die parametrische Entzerrung und die Entzerrung mittels Polynomfunktionen zu verknüpfen.

30

Ein Nachteil der bekannten Verfahren liegt in einer schlechten Automatisierbarkeit, insbesondere bei einem geringen Kenntnisstand des Abbildungsvorgangs. Eine Anpassung aller Abbildungsparameter an eine aktuelle Situation ist hierbei meistens zu aufwendig, so dass eine reine Polynomentzerrung eingesetzt wird. Die notwendigen Passpunkte werden dabei einer Datenbank entnommen. Die bisher bekannten Verfahren weisen Restfehler in der Positionsbestimmung der Passpunkte des zu bearbeitenden Datensatzes auf. Dieser Restfehler lässt sich nicht oder nur sehr

35

aufwendig analytisch beschreiben, so dass auch eine entsprechende Anpassung durch Korrektur des Abbildungsmodells nicht möglich ist.

5 Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Bildern zu schaffen, durch welche ohne genaue Kenntnis des Abbildungsmodells ein verbleibender Restfehler verringert wird.

10 Die Lösung des Problems ergibt sich durch ein Verfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 9. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Zur automatischen Entzerrung eines Bild auf ein Referenzbild, wobei Parameter einer Abbildungsfunktion der Entzerrung mindestens teilweise unbekannt sind, werden aus dem Bild mindestens drei Objekte extrahiert und mindestens drei Passpunkte ermittelt, wobei charakteristische Objektpunkte der extrahierten Objekte als Passpunkte ermittelt werden. Die extrahierten Objekte werden Objekten im Referenzbild zugeordnet, wobei eine Zuordnung von Objekten in beiden Bildern aufgrund einer Ähnlichkeit von Objekten und/oder eines Vektornetzes erfolgt und das Vektornetz durch eine Verbindung charakteristischer Objektpunkte gebildet wird. Anhand der Passpunkte sowie den entsprechenden Punkten im Referenzbild werden die Parameter der Abbildungsfunktion angepasst und/oder es wird eine geeignete bekannte Abbildungsfunktion ermittelt. Die Anpassung und/oder Ermittlung erfolgt derart, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsdifferenzen zwischen projizierten Passpunkten und entsprechenden Passpunkten im Referenzbild erreicht wird. Abbildungsfunktionen mit festen Parametersätzen sind beispielsweise in einer Datenbank abgelegt. Eine derartige Anpassung ist von Interesse, wenn vielfach gleiche Abbildungsvorgänge vorliegen. Für eine Wahl geeigneter Objekte ist vorteilhaft, wenn die Objekte markante und einmalige Formen aufweisen, so dass grobe Fehler ausgeschlossen werden. Das Referenzbild kann dabei entweder in einer bekannten Kartenprojektion abgebildet sein oder eine unbekannte Abbildungsgrundlage aufweisen. Ist die Abbildungsgrundlage bekannt, so ist die Abbildungsfunktion aus einem Abbildungsmodell gegeben. Bei einer unbekannten Abbildungsgrundlage des Referenzbildes ist die Abbildungsfunktion eine affine Transformation. Durch die Anpassung der Parameter unter Berechnung eines Fehlersummenminimums ist eine Anpassung der Abbildungsfunktion ohne genaue Kenntnis des Abbildungsmodells und/oder im Falle der fehlenden Abbildungsgrundlage ohne Abbildungsmodell möglich.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden in einem weiteren Verarbeitungsschritt die für eine Anpassung der Abbildungsfunktion verwendeten Passpunkte gewichtet. Hierfür werden zunächst um einen möglichen Passpunkt des zu entzerrenden Bildes und/oder des Referenzbildes Flächen gebildet, sogenannte Passpunktstrukturen. Die Flächen sind in der Regel quadratisch mit $N \times N$ Pixel, wobei N eine beliebige natürliche Zahl ist. Die Passpunktstrukturen werden in das jeweils andere Bild mittels der Abbildungsfunktion projiziert, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit, Richtungskontast und/oder Ähnlichkeit beschrieben ist. Die Veränderlichkeit wird aus der bereits bestimmten Klassenzugehörigkeit abgeleitet.

Klassen mit geringer Veränderlichkeit, beispielsweise Wasser, erzeugen eine hohe Qualität. Objekte mit starker Veränderlichkeit, beispielsweise Vegetationen, haben hingegen eine geringe Qualität. Die Werte für eine derartige Qualitätsbewertung lassen sich vorab bestimmen und in Tabellen ablegen. Ein weiteres Kriterium für die Qualität eines Passpunktes ist der Richtungskontast. Für eine exakte Bestimmung von Positionen der Passpunkte ist ein großer Kontrast innerhalb der Passpunktstruktur erforderlich. Strukturen mit großen Kontrasten in horizontaler (X-) Richtung und vertikaler (Y-) Richtung der Bildebene haben somit eine hohe Qualität. Der Kontrast wird aus maximalen Grauwertdifferenzen in den Zeilen oder Spalten errechnet. Grauwerte werden auf einem oder mehreren Kanälen erfasst, beispielsweise auf drei Kanälen als so genannte Farbwerte. Bei einer Betrachtung der Grauwertdifferenzen auf einem Kanal kann entweder der Kontrast aus dem Bild oder bevorzugt aus dem Bild sowie dem zugehörigen Referenzbild in das Qualitätsmaß eingehen. Zudem ist die Ähnlichkeit Kriterium für das Qualitätsmaß. Die Ähnlichkeit wird aus einem Vergleich der Form des Grauwertverlaufes in X- und Y-Richtung innerhalb der Passpunktstrukturen des Grauwertbildes und des Referenzbildes abgeleitet. Während Veränderlichkeit und Richtungskontast im zu entzerrenden Bild und/oder im Referenzbild festgelegt sind, lässt sich die Ähnlichkeit durch eine Anpassung verbessern. Die einzelnen Qualitätsmaße werden zu einer gemeinsamen Qualitätsbewertung verknüpft. Für eine derartige Verknüpfung ist eine Vielzahl an Methoden denkbar, wobei die einzelnen Qualitätsmaße je nach Aufgabestellung unterschiedlich gewichtet werden können. Aufgrund der gemeinsamen Qualitätsbewertung wird jedem Passpunkt eine Wichtung zugeordnet, mit welcher dieser in eine Anpassung der Parameter für eine Bestimmung der Abbildungsfunktion eingeht. Passpunkte, welche ein sehr niedriges Qualitätsmaß aufweisen, sind für eine weitere Bearbeitung zu verwerfen.

In einer weiteren Ausführungsform erfolgt eine genauere Bestimmung der Position der ermittelten Passpunkte im zu entzerrenden Bild durch einen Vergleich der Passpunktstrukturen. Dabei ist sowohl eine Projektion von Teilen der Passpunktstruktur des Bildes in das Referenzbild, als auch umgekehrt denkbar.

5 Bevorzugt werden für beide Bildausschnitte Bildschärfen berechnet und der unschärfere Bildausschnitt in den schärferen projiziert. Zunächst erfolgt eine Anpassung der Grauwertverteilung oder der Grauwertverteilungen der projizierten Bildstruktur an die zugehörige Passpunktstruktur im zu entzerrenden Bild und/oder im Referenzbild. Dadurch lassen sich Unterschiede ausgleichen, welche beispielsweise

10 aufgrund unterschiedlicher Belichtungsverhältnisse bei der Aufnahme des jeweiligen Bildes vorliegen. Anschließend werden die Grauwerte der einzelnen Pixel in der Passpunktstruktur oder der Bildstruktur bestimmt und die Differenz zwischen benachbarten Pixel gebildet. Diese Differenz wird mit der Differenz der korrespondierenden Pixel in der anderen Struktur verglichen und daraus ein Fehler

15 abgeleitet. Anschließend wird die Passpunktstruktur im zu entzerrenden Bild in X- und/oder Y-Richtung versetzt und erneut ein Fehler ermittelt. Durch schrittweisen Versatz der Passpunktstruktur in X- und Y-Richtung wird eine Fehlermatrix erzeugt. Die Schrittgröße ist dabei geringer als die Ausdehnung der Passpunktstruktur. Als am besten angepasste Position wird die Position der Passpunktstruktur identifiziert, welche

20 den geringsten Fehler aufweist. Positionen, welche auf diese Art ermittelt wurden, weisen eine hohe Positionsgenauigkeit auf. Dadurch kann eine Anpassung der Abbildungsparameter verbessert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Anpassung der Parameter der

25 Abbildungsfunktion durchgeführt, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, dass ein Fehlersummenminimum in den Positionsdifferenzen zwischen Passpunkten und zugehörigen projizierten Bildpunkten unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte minimiert wird. Durch eine zwei-

30 stufige Anpassung der Abbildungsparameter erfolgt zunächst eine grobe Entzerrung des Bildes, welche in einem weiteren Schritt verfeinert wird. Es ist jedoch auch denkbar, dass Passpunkte bereits in Grenzen bekannt sind und so auf eine erste Anpassung verzichtet werden kann.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird eine Ausgleichsrechnung

35 durchgeführt, wobei der Restfehler in der Positionsbestimmung weiter verringert wird. Hierbei wird für jeden Passpunkt mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmt, welcher die Abweichung des Wertes der Abbildungsfunktion

vom Wert der Ausgleichsfunktion am Ort des zugehörigen Bildpunktes bei einer Projektion mit der am besten angepassten Abbildungsfunktion wiedergibt. Die derart ermittelten Korrekturwerte lassen sich in einer Korrekturtabelle speichern und für eine Weiterverarbeitung nutzen. Es wird die am besten angepasste Abbildungsfunktion ermittelt. In vielen Fällen ist jedoch ein Restfehler der am besten angepassten Abbildungsfunktion gegenüber einer dem Abbildungsvorgang tatsächlich zugrunde liegenden Funktion unvermeidbar und/oder nur mit einem sehr hohen Aufwand vermeidbar. Mit Hilfe der aus der Korrekturtabelle abgeleiteten Korrekturfunktion ist eine Entzerrung mit hoher Qualität auch dann möglich, wenn eine am besten angepasste Abbildungsfunktion einen Restfehler aufweist.

In einer weiteren Ausführungsform werden die Eckkoordinaten projizierter Bildelemente ermittelt. Eine Bildposition der Eckkoordinaten ergibt sich aus einer Projektion mit der ermittelten Abbildungsfunktion und der Korrekturwerte. Durch Interpolation der Korrekturwerte der Passpunkte lässt sich Korrekturfunktion aufstellen. Somit können die Korrekturwerte an den Eckkoordinaten ermittelt werden.

In einer weiteren Ausführungsform wird ein Resampling derart durchgeführt, dass die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente entsprechend ihrer Größe gewichtet gemittelt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden Objekte durch eine Klassifikation und/oder eine geometrische Strukturanalyse extrahiert. In der Klassifikation werden die Eigenschaften des Bildes analysiert und Objekte und/oder Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet. Als Objekte und/oder Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit werden Bildteile bezeichnet, deren Elemente (Pixel) jeweils einer Klasse angehören. Die Klassifikation stützt sich auf Bildeigenschaften. Diese Eigenschaften können sich auf einzelne Pixel beziehen. Eine Eigenschaft, die sich auf ein Pixel bezieht, ist beispielsweise ein Grauwert in einem Kanal, der durch das Reflexionsverhalten der dem Pixel entsprechenden Oberfläche in einem festgelegten Wellenlängenbereich bestimmt wird. Weiter können Eigenschaften sich auch auf mehrere Pixel beziehen, bei denen die räumliche Anordnung einzelner Grauwerte eine Rolle spielt, beispielsweise bei der Textur. Eine weitere Eigenschaft ergibt sich aus dem Reflexionsverhalten der Oberfläche in verschiedenen Wellenlängenbereichen (spektrale Eigenschaft). Ausgehend von bestimmten Eigenschaften lassen sich Objekte in Klassen einteilen, beispielsweise in Landnutzungsklassen wie Ackerbau,

Nadelwald, etc. Insbesondere werden damit Wolken und Gebiete mit stabilem Reflexionsverhalten, beispielsweise Wasser oder Nadelwälder, erkannt. Mittels einer Maske lassen sich die Bildobjekte, welche als Wolken erkannt wurden, kennzeichnen. Wolkengebiete werden für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen oder bei Bedarf einer gesonderten Bearbeitung unterworfen. Liegen multispektrale Fernerkundungsdaten vor, so werden Objekte vorzugsweise gemäß einem aus der Patentschrift DE 199 39 732 C2 bekannten Verfahren zur Klassifikation detektiert und identifiziert.

- 10 Die Anhand ihrer Eigenschaften klassifizierten Objekte sind durch eine daran anschließende geometrische Strukturanalyse genauer klassifizierbar. Die geometrische Strukturanalyse umfasst beispielsweise eine Analyse der Objekte selbst, wobei deren Größe, Form und/oder Homogenität betrachtet werden. Vorzugsweise werden Informationen über benachbarte Objekte einbezogen. So lassen sich beispielsweise
- 15 Bildelemente in Übergangsbereichen einem Objekt zuordnen.

- Hierzu werden im ersten Schritt die Randverläufe der geeigneten klassifizierten Flächen ermittelt, wobei zusätzlich eine numerische Charakterisierung dieser Objekte durch ein geeignetes Strukturmaß erfolgt. Dabei lassen sich die Objekte, welche an
- 20 Wolken angrenzen, gesondert kennzeichnen. Diese Objekte werden dann mit entsprechenden Objekten des Referenzbildes korreliert, so dass als Ergebnis die Objekte vorab extrahiert und identifiziert sind.

- Aus den extrahierten Objekten werden die Positionen der jeweiligen abgeleiteten charakteristischen Objektpunkte, vorzugsweise Objektmittelpunkte, berechnet. Gegebenenfalls wird bei teilweise durch Wolken abgedeckten Objekten nach charakteristischen Randverläufen gesucht.
- 25

- Die Bilder werden durch ein beliebiges Aufnahmegerät erzeugt, welches einkanalige oder mehrkanalige Bilder produziert. Ein geeignetes Aufnahmegerät ist beispielsweise eine Pushbroom-Camera. Das Aufnahmegerät ist an einem beliebigen Objekt angebracht, welches gegenüber einer aufzunehmenden Oberfläche eine Relativbewegung durchführt. Dabei ist es auch denkbar, dass die Oberfläche relativ zum Aufnahmegerät bewegt wird.
- 30

- 35 Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst einzelne Module. Die einzelnen Module der können entweder auf einem gemeinsamen Rechenmittel oder auf getrennten

Rechenmitteln integriert werden. Geeignete Rechenmittel sind beispielsweise ein PC, eine Workstation und/oder ein Rechnercluster. Die Verfahrensschritte können teilweise parallel bearbeitet werden.

- 5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Figuren zeigen:

- Fig. 1: den Ablauf bei einer automatischen Entzerrung eines Satellitenbildes,
 Fig. 2: eine schematische Darstellung der Generierung von Objekträndern
 10 durch Klassifikation und geometrische Strukturanalyse,
 Fig. 3: schematisch einen Ausschnitt aus einem Bild sowie einem Referenzbild,
 Fig. 4: eine schematische Illustration zur Ermittlung einer Abbildungsfunktion
 anhand geometrische Beziehungen,
 Fig. 5: eine schematische Illustration zur Ermittlung einer verbesserten
 15 Abbildungsfunktion anhand geometrische Beziehungen,
 Fig. 6: eine schematische Darstellung von Korrekturwerten für eine
 Abbildungsfunktion und
 Fig. 7: eine schematische Darstellung einer Entzerrung anhand einer
 Abbildungsfunktion.

20

- Fig. 1 zeigt schematisch den Ablauf bei einer automatischen Entzerrung eines einkanaligen oder mehrkanaligen Bildes auf ein Referenzbild. Das Verfahren ist modular durch die Module 1 bis 10 aufgebaut. Alle für eine Entzerrung notwendigen Informationen sind aus Daten des Bildes und/oder eines Referenzbildes extrahierbar.
 25 Die Entzerrung auf das Referenzbild ist somit ohne Kenntnis der Abbildungsfunktion möglich. Liegen zusätzliche Informationen vor, so können diese im Verfahren verwendet werden. Für eine Entzerrung ist es ausreichend, dass das Bild und das Referenzbild als einkanaliges Grauwertbild vorliegen. In den Modulen 1 bis 4 wird mit Hilfe von klassifizierten Objekten und deren Beziehungen zueinander eine
 30 Grobzuordnung zwischen Bild und Referenzbild erreicht. Auf der Grundlage der Grobzuordnung wird in Modul 5 ein grob angepasster virtueller Abbildungsvorgang ermittelt. In den Modulen 6 bis 8 erfolgt eine Feinanpassung des virtuellen Abbildungsvorganges. Als Ergebnis der Module 6 bis 8 liegt eine endgültige Abbildungsfunktion mit Korrekturtabelle vor. Die Zuordnung von Grauwertanteilen zu
 35 einer Fläche (Pixel) findet in den Schritten 9 und 10 statt.

Das Verfahren ist am Beispiel der Entzerrung eines Satellitenbildes S illustriert. Das Satellitenbild S wird beispielsweise durch eine Pushbroom-Camera aufgenommen. Die Pushbroom-camera besteht aus einer Sensorzeile. Durch eine Vorwärtsbewegung des Satelliten oder eines anderen bewegten Objekts beispielsweise eines Flugzeugs entsteht das Satellitenbild durch Aneinanderreihung der einzelnen Zeilen.

Im Modul 1 wird zunächst das Satellitenbild S auf bestimmte Bildeigenschaften untersucht. Eigenschaften sind beispielsweise der Albedo-Wert, d.h. das Verhältnis von reflektierter Strahlung zu Einstrahlung, Farb- oder Grauwerte und/oder texturelle Eigenschaften einer aufgenommenen Oberfläche. Ausgehend von Eigenschaften lassen sich Bildobjekte in Klassen einteilen, beispielsweise in Landnutzungsklassen wie Ackerbau, Nadelwald, etc. Bildanteile werden somit im nächsten Schritt gemäß ihrer Eigenschaften klassifiziert und Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet. Für die Klassifikation wird ein geeigneter Klassifizierungsalgorithmus verwendet, durch welchen beispielsweise Gebiete mit stabilem Reflexionsverhalten, wie Wasserflächen, identifizierbar sind.

In Modul 2 erfolgt eine Identifikation von Objekten, wobei Objektränder Randverläufe der gebildeten Flächen sind und beispielsweise unter Verwendung eines Strukturanalysemodells eine numerische Charakterisierung eines Objekts aufgrund seines Strukturmaßes erfolgt. Die Objektrandverläufe ermöglichen eine Formbeschreibung der einzelnen Objekte. Die verschiedenen Objektformen sind eine Voraussetzung, um gleiche Objekte in Referenzbild und Satellitenbild zu ermitteln.

Fig. 2 illustriert schematisch, wie durch Klassifikation und geometrische Strukturanalyse ein Bild O ermittelt wird, dem einzelne Objektränder entnehmbar sind.

In Modul 3 werden für die aufgefundenen Objektränder Objektmittelpunkte berechnet, welche Position der Objekte wiedergeben. Das Satellitenbild S wird durch eine nicht oder nur teilweise bekannte Abbildungsfunktion auf ein Referenzbild entzerrt. Die Objektmittelpunkte sowie weitere markante Punkte der Objektgeometrie sind Passpunkte für eine Anpassung der Abbildungsfunktion.

In dem Modul 4 werden markante extrahierte Objekte gemäß Bild O jeweils einem Objekt des Referenzbildes R zugeordnet und/oder extrahierte Objekte identifiziert. Dabei ist zu beachten, dass Objekte verzerrt dargestellt sind und daher eine Zuordnung aufgrund von Objektflächenformen nur bedingt möglich ist. Die Zuordnung

und/oder Identifikation erfolgt daher erfindungsgemäß zusätzlich durch Vektornetze, durch welche Objekte im Bild O sowie im Referenzbild R verknüpft werden. Zum Erzeugen eines Vektornetzes sind mindestens drei markante Objekte notwendig. Durch eine Analyse der geometrischen Ähnlichkeit der Vektornetze werden Objekte

5 räumlich zugeordnet und/oder identifiziert.

Fig. 3 zeigt schematisch einen Ausschnitt aus einem Bild O sowie einem Referenzbild R. In dem Bild O sowie im Referenzbild R sind jeweils drei markante Objekten O1, O2, O3 und O1', O2', O3' aufgefunden, ihre Mittelpunkte als markante Objektpunkte

10 identifiziert und als Passpunkte gewählt. Die Passpunkte sind jeweils über ein Vektornetz verbunden. Die Objekte O1, O2, O3 und das Vektornetz des Bildes O sind gegenüber dem Referenzbild verzerrt. Die Objekte O1, O2, O3 sind daher nicht direkt den Objekten O1', O2', O3' zuordenbar und somit identifizierbar. Durch eine Analyse der geometrischen Ähnlichkeit der Vektornetze werden Objekte O1, O2, O3 räumlich

15 den Objekten O1', O2', O3' zugeordnet und dadurch identifiziert.

In Modul 5 wird zunächst eine Anpassung der nicht oder nur teilweise bekannten Abbildungsfunktion an die in den Modulen 1 bis 4 ermittelten Passpunkte durchgeführt. Der Anfangsparametersatz wird dabei aus den geometrischen Beziehungen der

20 Objekte zueinander berechnet. Die Anpassung erfolgt durch eine Änderung der Parameter der Abbildungsfunktion.

Fig. 4 illustriert eine Bestimmung einer Abbildungsfunktion anhand geometrische Beziehungen. Bilder von der Erdoberfläche 22 werden mittels eines Satelliten 20

25 aufgenommen. Gesucht wird eine Abbildungsfunktion, durch welche die geometrischen Beziehungen von Objekten O1-O4 der Erdoberfläche zueinander möglichst exakt beibehalten werden

In Modul 6 werden weitere Passpunkte für eine Anpassung der Abbildungsfunktion generiert. Prinzipiell ist jeder Punkt, welcher sich in beiden Bildern eindeutig identifizieren lässt, als Passpunkt geeignet. Die potentiellen Passpunkte sind jedoch hinsichtlich ihrer Eignung unterschiedlich zu bewerten. Hierfür werden in Modul 6

30 Qualitätskennzahlen von Passpunktstrukturen ermittelt. Passpunktstrukturen sind Flächen mit $N \times N$ Pixel, welche um einen potentiellen Passpunkt liegen. Die Größe der Passpunktstrukturen ist ein Kompromiss zwischen dem idealen, dimensionslosen Pass-„Punkt“ und einer wiedererkennbaren Bildstruktur. Geeignete Passpunktstrukturen sind beispielsweise 3×3 oder 5×5 Pixel. Die Qualitätskennzahlen

35

- ergeben sich aus Veränderlichkeit, Richtungskontrast und Ähnlichkeit. Die Veränderlichkeit einer Passpunktstruktur wird aus ihrer Klassenzugehörigkeit entsprechend Modul 1 abgeleitet. Eine hohe Veränderlichkeit wirkt sich dabei negativ auf die Qualitätsbewertung des Passpunktes aus. Um in einem nachfolgenden
- 5 Verfahrensschritt die Position des Passpunktes mit einer hohen Genauigkeit zu ermitteln, ist ein großer Kontrast innerhalb der Passpunktstruktur von Vorteil. Einer Struktur mit großen Richtungskontrasten wird daher ein hohes Qualitätsmaß zugeordnet. Die Ähnlichkeit zwischen zwei Strukturen ist für einen Vergleich des projizierten Bildes mit dem Referenzbild sehr wichtig, da bei ungenügender Ähnlichkeit
- 10 eine Positioniergenauigkeit stark absinkt. Das Qualitätsmaß ist daher proportional zur Ähnlichkeit. Jedem Passpunkt wird entsprechend seiner Qualitätskennzahl eine Wichtung zugeordnet. Passpunktstrukturen und dazugehörige Qualitätskennzahlen werden in einer Passpunkttafel abgelegt.
- 15 Mit der größeren Passpunktzahl und deren Wichtung wird in Modul 7 erneut eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion durchgeführt, wodurch die Genauigkeit der Abbildungsfunktion verbessert wird.

- Fig. 5 illustriert eine Wirkung der Anpassung von Parametern für eine verbesserte
- 20 Bestimmung der Abbildungsfunktion. Die Abbildungsfunktion wird durch eine Vielzahl an Gegebenheiten zum Zeitpunkt einer Aufnahme bestimmt. So hat beispielsweise eine Ausrichtung des Satelliten 20 eine Auswirkung auf eine Abbildung der Erdoberfläche 22. Die Ausrichtung des Satelliten 20 sowie andere Gegebenheiten sind jedoch im Regelfall nur in Grenzen bekannt. Die Abbildungsfunktion wird durch eine
- 25 Variation mindestens eines Parameters so angepasst, dass die Positionsfehler im Bild minimiert werden. Die Anpassung erfolgt, ohne dass die Ausrichtung des Satelliten 20 und/oder andere Gegebenheiten zum Zeitpunkt der Aufnahme bekannt sind.

- Positionsrestfehlern, welche durch die verbesserte Abbildungsfunktion nicht vollständig
- 30 vermieden werden, wird mit einer Ausgleichsrechnung in Modul 8 begegnet. Dabei wird angenommen, dass die Positionsrestfehler über kurze Distanzen keine starke Änderung aufweisen. Die Ausgleichsrechnung wird daher unter Einbeziehung der näheren Umgebung durchgeführt. Als Ergebnis der Ausgleichsrechnung wird in Modul 8 eine Fehlerkorrekturtabelle erstellt. Durch Interpolation der Fehlerkorrekturtabelle ist
- 35 eine Fehlerkorrekturfunktion ermittelbar.

Fig. 6 verdeutlicht die Korrekturtabelle. Die Korrekturwerte sind durch Pfeile dargestellt. Einzelnen Objekten O6 – O8 sind unterschiedliche Korrekturwerte zugeordnet, was durch unterschiedliche Pfeillänge illustriert wird.

- 5 In Modul 9 werden Eckkoordinaten der projizierten Bildelemente berechnet. Die Berechnung erfolgt unter Verwendung der ermittelten Abbildungsfunktion und der Fehlerkorrekturfunktion. Zum Schluss findet in Modul 10 ein Resampling mit den vorher berechneten projizierten Positionen statt.
- 10 Fig. 7 illustriert eine Entzerrung des Bildes anhand der ermittelten Abbildungsfunktion mit Fehlerkorrektur, wobei eine Bildstruktur B1 auf eine Referenzstruktur R1 projiziert wird.

PATENTANSPRÜCHE

- 5 1. Verfahren zur automatischen Entzerrung von Bildern, wobei mindestens ein Bild durch eine Abbildungsfunktion auf ein Referenzbild (R) entzerrt wird und Parameter der Abbildungsfunktion mindestens teilweise unbekannt sind, umfassend mindestens
- 10 - eine Extraktion von mindestens drei Objekten (O1 – O3) aus dem Bild (O),
- eine Ermittlung von mindestens drei Passpunkten in dem Bild, wobei charakteristische Objektpunkte der extrahierten Objekte als Passpunkte ermittelt werden,
- 15 - eine Zuordnung der Objekte (O1 – O3) zu Objekten (O1' – O3') im Referenzbild, wobei eine Zuordnung von Objekten in beiden Bildern aufgrund einer Ähnlichkeit von Objekten und/oder eines Vektornetzes erfolgt und das Vektornetz durch eine Verbindung charakteristischer Objektpunkte gebildet wird, und
- 20 - eine Auswahl einer geeigneten Abbildungsfunktion und/oder eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart verändert wird, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsdifferenzen zwischen projizierten Passpunkten und entsprechenden Punkten im Referenzbild erreicht wird.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend eine Generierung von gewichteten Passpunkten, wobei um einen Passpunkt des Bildes und/oder des Referenzbildes eine Passpunktstruktur umfassend eine begrenzte Anzahl an Pixeln gebildet wird, die Passpunktstruktur durch die Abbildungsfunktion auf
- 30 das jeweils andere Bild als Bildstruktur projiziert wird, um zu erkennen, ob auch dort eine entsprechende Bildstruktur ausreichender Qualität vorhanden ist, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit, Richtungskонтраст und/oder Ähnlichkeit beschrieben ist und aufgrund der Qualität eine Wichtung der Passpunkte ermittelt wird.
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 2, umfassend eine Anpassung der Position des Passpunktes im Bild und/oder im Referenzbild, wobei für mindestens einen Kanal die Form einer Grauwertverteilung der Passpunktstruktur im Referenzbild

und die Form einer Grauwertverteilung der Bildstruktur im Bild aufeinander abgestimmt werden, im Bild und/oder im Referenzbild mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten zweier benachbarter Pixel der Passpunktstruktur und mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten der entsprechenden Pixel der Bildstruktur gebildet wird und aus einem Unterschied der Differenzen ein Fehler abgeleitet wird, das unscharfe Strukturteil in das scharfe Strukturteil abgebildet wird, die Passpunktstruktur im Bild und/oder im Referenzbild in vertikaler und/oder horizontaler Richtung verschoben wird und für die neue Position der Fehler ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, umfassend eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion und/oder eine Auswahl einer geeigneten Abbildungsfunktion, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart verändert wird, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsdifferenzen zwischen projizierten Passpunkten und entsprechenden Passpunkten im Referenzbild unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte erreicht wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend eine Ausgleichsrechnung mittels einer Korrekturfunktion, wobei für mindestens zwei Passpunkte mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmt werden, welche die Positionsdifferenz zwischen dem projizierten Passpunkt und dem entsprechenden Passpunkt im Referenzbild angeben, und die Korrekturfunktion in Abhängigkeit der Korrekturwerte bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, umfassend eine Projektion von Eckkoordinaten eines Bildelementes auf Bildpositionen, wobei die Bildpositionen der Eckkoordinaten aufgrund der Abbildungsfunktion und der Korrekturfunktion ermittelt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, umfassend ein Resampling, wobei die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte entsprechend der Flächenanteile aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente in den resultierenden Grauwert eingehen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Extraktion eine Klassifikation und/oder eine geometrische Strukturanalyse umfasst, wobei
- in der Klassifikation die Eigenschaften des Bildes analysiert werden und Objekte und/oder Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit gebildet werden und
 - in der geometrischen Strukturanalyse ein Randverlauf eines Objekts aus einem Randverlauf einer Fläche ermittelt wird und/oder eine numerische Charakterisierung der Objekte durch ein Strukturmaß erfolgt.
9. Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Bildern, wobei mindestens ein Bild durch eine Abbildungsfunktion auf ein Referenzbild (R) entzerrbar ist und Parameter der Abbildungsfunktion mindestens teilweise unbekannt sind, umfassend mindestens
- ein Modul (1, 2) für eine Extraktion von mindestens drei Objekten (O1 – O3) aus dem Bild (O),
 - ein Modul (3) für eine Ermittlung von mindestens drei Passpunkten in dem Bild, wobei charakteristische Objektpunkte der extrahierten Objekte als Passpunkte ermittelbar sind,
 - ein Modul (4) für eine Zuordnung der Objekte (O1 – O3) zu Objekten (O1' – O3') im Referenzbild, wobei eine Zuordnung von Objekten in beiden Bildern aufgrund einer Ähnlichkeit von Objekten und/oder eines Vektornetzes erfolgt und das Vektornetz durch eine Verbindung charakteristischer Objektpunkte bildbar ist, und
 - eine Auswahl einer geeigneten Abbildungsfunktion und/oder eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart verändert wird, dass ein Fehlersummenminimum in Positionsabweichungen zwischen projizierten Passpunkten und entsprechenden Punkten im Referenzbild erreicht wird.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, umfassend ein Modul (6) für eine Generierung gewichteter Passpunkte, durch welches um einen Passpunkt des Bildes und/oder des Referenzbildes eine Passpunktstruktur umfassend eine begrenzte Anzahl an Pixel bildbar ist, die Passpunktstruktur durch die Abbildungsfunktion auf das jeweils andere Bild als Bildstruktur abbildbar ist, wobei eine Qualität der Passpunktstruktur mindestens durch Veränderlichkeit,

Richtungskontrast und/oder Ähnlichkeit beschreibbar ist und aufgrund der Qualität eine Wichtung der Passpunkte ermittelbar ist.

- 5 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, umfassend ein Modul, durch welches eine Position des Passpunktes im Bild und/oder im Referenzbild anpassbar ist, wobei auf mindestens einem Kanal die Form einer Grauwertverteilung der Passpunktstruktur und der Bildstruktur aufeinander abstimmbare sind, mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten zweier benachbarter Pixel der Passpunktstruktur und mindestens eine Differenz zwischen Grauwerten der entsprechenden Pixel der Bildstruktur bildbar ist und aus einem Unterschied der Differenzen ein Fehler ableitbar ist, wobei das unscharfe Strukturteil in das scharfe Strukturteil abgebildet wird, die Passpunktstruktur im Bild und/oder im Referenzbild in vertikaler und/oder horizontaler Richtung verschiebbar ist und für die neue Position der Fehler ermittelbar ist.

10

15
12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, umfassend ein Modul (7), durch welches die Parameter der Abbildungsfunktion anpassbar sind, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart veränderbar ist, dass ein Fehlersummenminimum in den Positionsabweichungen zwischen Passpunkten und zugehörigen projizierten Bildpunkten unter Berücksichtigung der Wichtung der Passpunkte minimiert wird.

20
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, umfassend ein Modul (8), durch welches eine Ausgleichsrechnung durchführbar ist, wobei für jeden Passpunkt mindestens ein vertikaler und/oder ein horizontaler Korrekturwert bestimmbar ist, welcher die Abweichung des Wertes der Abbildungsfunktion vom Wert der Ausgleichsfunktion am Ort des Passpunktes wiedergibt.

25
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, umfassend ein Modul (9), durch welches Eckkoordinaten eines Bildelementes auf Bildpositionen abbildbar sind, wobei die Bildpositionen der Eckkoordinaten aufgrund der Abbildungsfunktion und der Korrekturfunktion ermittelbar sind.

30
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, umfassend ein Modul (10), durch welches ein Resampling durchführbar ist, wobei die Eckkoordinaten ein Vieleck, bevorzugt ein Viereck, aufspannen und die Grauwerte entsprechend der Flächenanteile aller in dem Vieleck liegenden Bildelemente den resultierenden Grauwert bestimmen.

35

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Extraktion ein Modul (1) für eine Klassifikation und/oder ein Modul (2) für eine geometrische Strukturanalyse umfasst, wobei

- 5 - in der Klassifikation die Eigenschaften des Bildes analysierbar sind und Objekte und/oder Flächen gleicher Klassenzugehörigkeit bildbar und
- in der geometrischen Strukturanalyse ein Randverlauf eines Objekts aus einem Randverlauf einer Fläche ermittelbar ist und/oder eine
- 10 numerische Charakterisierung eines Objekts durch ein Strukturmaß erfolgt.

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Entzerrung von Bildern

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung automatischen Entzerrung von Bildern, wobei mindestens ein Bild durch eine Abbildungsfunktion auf ein Referenzbild entzerrt wird und Parameter der Abbildungsfunktion mindestens teilweise
10 unbekannt sind, umfassend mindestens eine Extraktion von mindestens drei Objekten ($O_1 - O_3$) aus dem Bild (O), eine Ermittlung von mindestens drei Passpunkten in dem Bild, wobei charakteristische Objektpunkte der extrahierten Objekte als Passpunkte ermittelt werden, eine Zuordnung der Objekte ($O_1 - O_3$) zu Objekten ($O_1' - O_3'$) im Referenzbild, wobei eine Zuordnung von Objekten in beiden Bildern aufgrund einer
15 Ähnlichkeit von Objekten und/oder eines Vektornetzes erfolgt und das Vektornetz durch eine Verbindung charakteristischer Objektpunkte gebildet wird, und eine Auswahl einer geeigneten Abbildungsfunktion und/oder eine Anpassung der Parameter der Abbildungsfunktion, wobei die Abbildungsfunktion durch eine Änderung der Parameter derart verändert wird, dass ein Fehlersummenminimum in
20 Positionsdifferenzen zwischen projizierten Passpunkten und entsprechenden Punkten im Referenzbild erreicht wird.

(Fig. 1)